

УДК 620.91

EDN [CJJNKE](#)



Интенсификация теплообмена в солнечном воздушном коллекторе

Е.С. Аббасов*, М.А. Умурзакова

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

*E-mail: erkinabbasov@yandex.ru

Аннотация. В статье обсуждены экспериментальные результаты по интенсификации теплоотдачи в плоских солнечных воздухонагревателях при числах Рейнольдса $Re < 2300$ с учетом снижения эффективности передачи тепла, обусловленной снижением температуры абсорбера. Показано, что интенсификация теплоотдачи в солнечном воздухонагревателе зависит от степени рекуперации теплоты абсорбером, которая уменьшается по мере увеличения скорости воздушного теплоносителя.

Ключевые слова: плоский солнечный воздухонагреватель, критерий Рейнольдса, абсорбер, воздушный поток, температура стенки, температурный напор, интенсификация теплоотдачи, рекуперация теплоты.

Intensification of heat transfer in a solar air collector

E.S. Abbasov*, M.A. Umurzakova

Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

*E-mail: erkinabbasov@yandex.ru

Abstract. The article discusses the experimental results on the enhancement of heat transfer in flat solar air heaters at Reynolds numbers $Re < 2300$, taking into account the decrease in the efficiency of heat transfer due to a decrease in the temperature of the absorber. It is shown that the intensification of heat transfer in a solar air heater depends on the degree of heat recovery by the absorber, which decreases as the speed of the air coolant increases.

Keywords: flat solar air heater, Reynolds criterion, absorber, air flow, wall temperature, temperature difference, heat transfer enhancement, heat recovery

1. Введение

Экономия традиционных топливно–энергетических ресурсов, в настоящее время, является основной задачей мировой экономики [1-3]. Так, по данным Международного Энергетического Агентства уже в настоящие годы практически во всех странах планируются масштабные мероприятия по внедрению экологически чистых технологий, в том числе и энергии Солнца.

В этой связи следует отметить, что страны центральной Азии такие как Узбекистан, Туркмения, Киргизия стали уделять значительное внимание проведению научных исследований, посвященных применению солнечных воздушных коллекторов для сушки хлопка, овощей и фруктов [4-7]. Положительной особенностью таких коллекторов является простота их изготовления, надежность и малые затраты на эксплуатацию.

2. Материалы и методы

Наиболее распространённым типом такого коллектора является плоский солнечный воздухонагреватель (ПСВН), в котором все аккумулирование тепла происходит на плоской части поглощающего зачернённого покрытия – абсорбера. Как правило, нагреваемый воздух приводится в движение маломощным вентилятором и далее происходит конвективный теплообмен между стенкой абсорбера и воздушным теплоносителем. Здесь следует учесть, что в таких режимах работы коллектора теплообмен, а, следовательно, его тепловая мощность является недостаточными.

В связи с развитием теории и методов интенсификации теплообмена в каналах теплообменных устройств, более глубокого понимания теплогидравлических процессов, протекающих на поверхностях сложных геометрий, открываются дополнительные возможности для повышения эффективности рекуперации тепла в ПСВН, что также будет способствовать созданию солнечных, воздушных нагревателей с наиболее удачной и рациональной конструкцией.

Учитывая вышесказанное, авторами сообщения показаны результаты исследований по повышению эффективности ПСВН за счет интенсификации теплоотдачи от абсорбера к воздушному потоку путем применения металлической стружки.

3. Результаты и обсуждение

Эффективность рекуперации теплоты в ПСВН определяется отношением между теплом, полученным в действительности к максимально возможно воспринятым теплом (в идеальном случае). Для анализа эффективности рекуперации теплоты в ПСВН в

качестве схемы выберем плоский солнечный воздухонагреватель, в котором в качестве абсорбера является металлический лист с поверхностными интенсификаторами теплообмена (рисунок 1). При условии, что воздух движется с малой скоростью (что соответствует практической эксплуатации коллектора), т.е. с малыми числами Рейнольдса ($Re < 2300$), эффективность коллектора определяется только его максимальной возможностью передавать тепло от теплоприемника к воздуху (без учета гидравлических потерь).

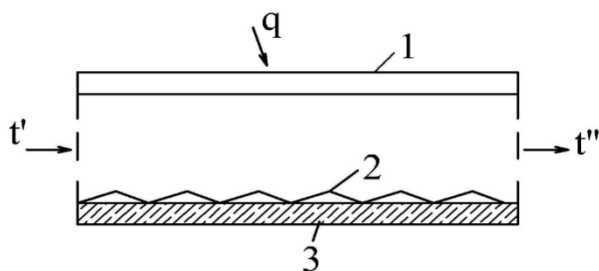


Рисунок 1. Плоский солнечный воздухонагреватель. 1 – прозрачное покрытие, 2 – абсорбер, 3 – изоляция.

В схеме (рисунок 1) показаны t' , t'' , $t_{ст}$ – соответственно, температуры входящего, выходящего воздуха из нагревателя и абсорбера, q – плотность падающей солнечной радиации ($Вт/м^2$).

Из уравнения теплового баланса, составленного для ПСВН в течении короткого промежутка времени, получим:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

Уравнение (1) является уравнением теплового баланса, где Q_1 – эта теплота, получаемая от идеального коллектора (не имеющего потерь), Q_2 – полезно полученное тепло в коллекторе Q_3 – потери тепла в коллекторе. В расчетах коэффициента эффективности в конкретный момент времени и излучения температура абсорбера принимается постоянной. $Q_1 = Gc_p(t_{ст} - t')$ – максимально возможное использование теплоты в ПСВН, Вт.

$Q_2 = Gc_p(t'' - t')$ – полезно использованное теплота в ПСВН, Вт.

$Q_3 = Gc_p(t_{ст} - t'')$ – недоиспользованное тепло в ПСВН вследствие не совершенности теплообмена между абсорбером и воздушным потоком, Вт.

G, c_p – соответственно расход ($кг/с$), и теплоемкость воздуха, $кДж/кг^{\circ}C$.

Подстановка вышеуказанных выражений в формулу (1) дает:

$$t_{ст} - t' \approx (t'' - t') + (t_{ст} - t'') \quad (2)$$

Расход и теплоёмкость воздуха считается постоянной

$$1 = \frac{t'' - t'}{t_{ст} - t'} + \frac{t_{ст} - t''}{t_{ст} - t'} \quad (3)$$

Обозначая через

$$\varepsilon = \frac{t'' - t'}{t_{ст} - t'} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{пот} = \frac{t_{ст} - t''}{t_{ст} - t'}$$

Получим:

$$1 = \varepsilon + \varepsilon_{пот} \quad (4)$$

или

$$\varepsilon = 1 - \varepsilon_{пот} \quad (5)$$

Будем считать ε – эффективностью рекуперации теплоты в ПСВН. $\varepsilon_{пот}$ - потерями рекуперации теплоты в ПСВН.

Таким образом, уравнение (5) является формулой эффективности рекуперации теплоты в ПСВН.

Если $\varepsilon_{пот} \rightarrow 0$, то $\varepsilon \rightarrow 1$. Следовательно, при малых потерях рекуперации теплоты, т.е. при совершенности теплообмена, эффективность рекуперации тепла в ПСВН стремится к своему максимуму.

Однако, эффективность рекуперации тепла ПСВН является неполной его характеристикой, так как эффективность ПСВН следует оценивать, также, через его тепловую производительность. В таких случаях воспользуемся методом оценки тепловой производительности ПСВН, основанного на сравнительном анализе предлагаемого и гладкостенного ПСВН. В данном случае, при сравнении за базовый вариант принимали солнечный воздушнонагреватель с гладкостенным абсорбером.

Если, воспользоваться теорией теплообменных аппаратов, то схема изменения температуры воздуха при прохождении его через ПСВН будет выглядеть следующим образом:

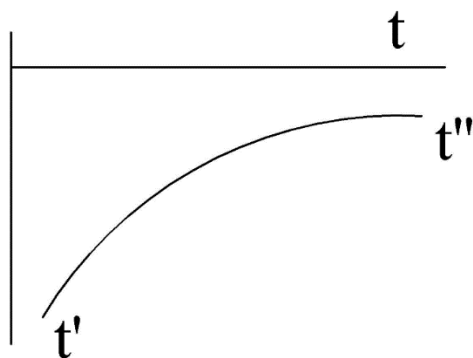


Рисунок 2. Изменение температуры воздуха по длине ПСВН.

$$\Delta t = t_{ст} - \frac{(t'' + t')}{2} = \frac{2t_{ст} - (t'' + t')}{2} = \frac{(t_{ст} - t'') + t_{ст} - t'}{2} = \frac{(t_{ст} - t') \left[\frac{t_{ст} - t''}{t_{ст} - t'} + 1 \right]}{2} = \left(\frac{t_{ст} - t'}{2} \right) [\varepsilon_{пот} + 1] \quad (6)$$

Аналогично для ПСВН с гладким абсорбером получим

$$\Delta t_{гл} = \frac{(t_{ст} - t')}{2} [\varepsilon_{пол} + 1] \quad (7)$$

Тепловая производительность ПСВН с интенсификацией теплоотдачи может быть определена как:

$$Q = \alpha F \Delta t, \quad (8)$$

где $\alpha, F, \Delta t$ – соответственно, коэффициент теплоотдачи от абсорбера к воздуху, (Вт/м²°С); поверхность абсорбера м² и температурный напор, °С.

Для ПСВН с гладким абсорбером справедливо следующее:

$$Q_{гл} = \alpha_{гл} F_{гл} \Delta t_{гл} \quad (9)$$

$$E = \frac{Q}{Q_{гл}} = \frac{\alpha}{\alpha_{гл}} \frac{F}{F_{гл}} \frac{\Delta t}{\Delta t_{гл}} = \frac{Nu}{Nu_{гл}} \frac{[\varepsilon_{пот} + 1]}{[\varepsilon_{пол} + 1]} \quad (10)$$

Таким образом, полученная формула (10) может быть использована для оценки эффективности ПСВН с интенсивным теплообменом. На рисунке 3 показан экспериментальный образец ПСВН, имеющий следующие габаритные размеры:



Рисунок 3. Экспериментальный ПСВН.

На рисунке 4 показан график изменения параметра E для экспериментов, проведенных от 30 августа 2018 г. в г. Фергане.

Е 30.08. 2018. 9³⁰

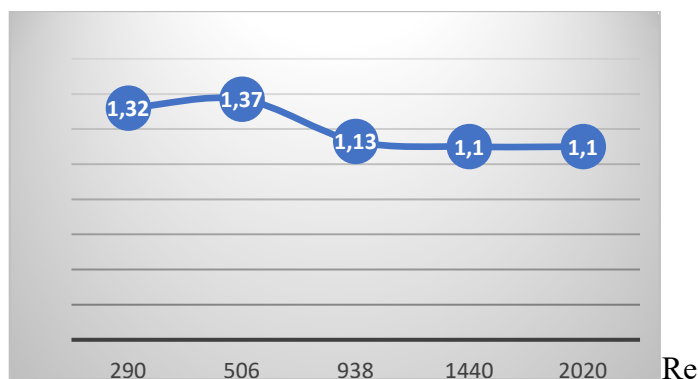


Рисунок 4. Результаты экспериментов по интенсификации теплоотдачи.

В таблицах № 1 и 2, приведенных на рисунке 5, показаны результаты экспериментов по интенсификации теплоотдачи в ПСВН.

30.08 2018 9³⁰

Таблица № 1

№	Re	$(\epsilon_{\text{пот}} + 1)/(\epsilon_{\text{пот}}^{\text{гл}} + 1)$	$Nu/Nu_{\text{гл}}$	$[Nu/Nu_{\text{гл}}] [(\epsilon_{\text{пот}} + 1)/(\epsilon_{\text{пот}}^{\text{гл}} + 1)]$
1	290	0,91	1,45	1,32
2	506	0,91	1,51	1,37
3	938	0,98	1,15	1,13
4	1440	1,0	1,1	1,1
5	2020	1,0	1,1	1,1

30.08 2018 14⁰⁰

Таблица № 2

№	Re	$(\epsilon_{\text{пот}} + 1)/(\epsilon_{\text{пот}}^{\text{гл}} + 1)$	$Nu/Nu_{\text{гл}}$	$[Nu/Nu_{\text{гл}}] [(\epsilon_{\text{пот}} + 1)/(\epsilon_{\text{пот}}^{\text{гл}} + 1)]$
1	290	0,87	1,46	1,27
2	506	0,87	1,5	1,3
3	938	0,94	1,24	1,16
4	1440	1,0	1,2	1,2
5	2020	1,0	1,12	1,2

Рисунок 5. Результаты экспериментов по интенсификации теплоотдачи в ПСВН.

4. Заключение

Показано, что применение в плоском солнечном воздухонагревателе методов интенсификации теплоотдачи способствует увеличению производительности коллекторов.

При организации таких процессов следует учитывать снижение температуры стенки абсорбера и влияние этого фактора на теплообмен.

Список литературы

1. Аббасов, Е.С. Тепловая эффективность плоских солнечных воздухонагревателей / Е.С. Аббасов, М.А. Умурзакова // Монография. Фергана. – 2019. – С. 128.
2. Аббасов, Е.С. Методы повышения эффективности теплообмена в солнечных воздухонагревателях / Е.С. Аббасов, М.А. Умурзакова // Монография. Фергана. – 2020. – С. 160.
3. Бобух, А.А. Компьютерные энергосберегающие технологии управления системами жизнеобеспечения зданий / А.А. Бобух, Д.А. Ковалёв, А.А. Климов, А.М. Дзевочко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Том 6. – № 2(72). – С. 48-53.
4. Узбеков, М.О. Измерения температуры нагрева абсорбера солнечного воздухонагревательного коллектора / М.О. Узбеков, А.Г. Тухтасинов // Universum: технические науки. – 2020. – № 6-3(75). – С. 90-94.
5. Рашидов, Ю.К. Солнечный воздухонагреватель с воздухопроницаемым матричным абсорбером / Ю.К. Рашидов, Ж.Т. Орзиматов, О.О.Ў. Эсонов, М.И.К. Зайнабидинова // Scientific progress. – 2022. – № 3(4). – С. 1237-1244.
6. Узбеков, М.О. Тепловая эффективность солнечного воздухонагревательного коллектора с металлическим стружечным абсорбером / М.О. Узбеков, А.Г. Тухтасинов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2020. – № 13(6). – С. 712-720.
7. Абдукаримов, Б.А. Исследование повышения коэффициента полезного действия солнечных воздухонагревателей / Б.А. Абдукаримов, А.А.У. Акрамов, Ш.Б.К. Абдухалилова // Достижения науки и образования. – 2019. – № 2(43). – С. 13-15.